

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)  
НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ  
(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»)**

**РЕФЕРАТ**

**По МДК 01.01 Технологическое оборудование испытания  
нефтяных и газовых скважин**

**На тему: «Физико-механические свойства горных пород»**

Выполнила  
Проверил преподаватель

Калугин Ю.Ю.  
Потехина И.Ю.

**Нижневартовск, 2022**

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 3  |
| 1. Горные породы и их многообразие.....              | 4  |
| 1.1 Понятие горных пород.....                        | 4  |
| 1.2 Классификация горных пород.....                  | 5  |
| 2. Основные свойства горных пород.....               | 11 |
| 2.2. Плотностные свойства горных пород.....          | 11 |
| 2.3. Механические свойства горных пород.....         | 15 |
| 2.4. Горнотехнологические свойства горных пород..... | 17 |
| 3. Рыхлые горные породы. Песок.....                  | 26 |
| 3.1 Общая характеристика рыхлых пород.....           | 28 |
| 3.2. Песок, его характеристика и свойства.....       | 28 |
| Заключение.....                                      | 36 |
| Список литературы.....                               | 38 |

## ВВЕДЕНИЕ

Горные породы, природные агрегаты минералов более или менее постоянного состава, образующие самостоятельные геологические тела, слагающие земную кору.

Горные породы представляют собой механические сочетания разных по составу минералов, в том числе и жидких. Процентное содержание минералов в горных породах определяет её минеральный состав. Форма, размеры, взаимное расположение и ориентация минеральных зёрен или частиц горной породы обуславливают её структуру и текстуру.

По происхождению горные породы делятся на три группы: магматические (изверженные), осадочные и метаморфические. Магматические и метаморфические слагают около 90% объёма земной коры, остальные 10% приходятся на долю осадочных пород, однако последние занимают 75% площади земной поверхности.

Среди осадочных пород важную роль играет песок.

Песок - мелкообломочная, рыхлая горная порода, состоящая из зерен (песчинок) кварца, других минералов и обломков пород, содержит примесь пылеватых и глинистых частиц. Песок является основным заполнителем в строительных растворах, для штукатурок. Широко применяется в строительстве, в стеклянной промышленности

Целью курсовой работы является: рассмотреть горные породы их свойства и многообразие и изучить свойства песка, как рыхлой горной породы.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

- рассмотреть понятие горных пород и их классификацию;
- изучить свойства горных пород;
- дать характеристику рыхлым горным породам;
- изучить свойства песка, как рыхлой горной породы и его применение

## **1. Горные породы и их многообразие**

### **1.1. Понятие горных пород**

Горные породы — это вещество, слагающее земную кору. Состоят горные породы из минералов, однородных или неоднородных, которые твердо или рыхло соединяются.

Нередко они состоят из сцементированных обломков различных пород, иногда с присутствием вулканического стекла. Горные породы сформировались в результате внутриземных или поверхностных геологических процессов.

Строение породы определяется ее структурой и текстурой. Под структурой понимают особенности соединения минеральных зерен, их размеры и формы. Одни породы состоят из крупных кристаллических зерен; другие — из мельчайших кристаллов, видимых только в микроскоп; третьи — из стекловидного вещества; четвертые — комбинированные, когда на фоне мельчайших кристаллов или стекловидного вещества встречаются отдельные

крупные кристаллы. Под текстурой понимают взаимное расположение и распределение слагающих породу минералов. Различают следующие виды текстуры:

- массивная текстура: никакого порядка в размещении минералов не наблюдается;
- слоистая: порода состоит из слоев разного состава;
- сланцевая: все минералы плоские и вытянутые в одном направлении;
- пористая: вся горная порода пронизана порами;
- пузырчатая: в горной породе есть пустоты от выделившихся газов.

## 1.2. Классификация горных пород

По происхождению горные породы подразделяются на:

1. Магматические породы.
2. Осадочные породы
3. Метаморфические породы.

Магматической определяется порода, образовавшаяся в результате охлаждения и затвердевания магмы. Так как магма может остывать на глубине, внутри каменной оболочки земного шара, или на земной поверхности, то магматические породы разделяются на интрузивные (внедрившиеся в толщи горных пород) и эффузивные (излившиеся). Наиболее типичными интрузивными породами считаются гранит, диорит, габбро, перидотит и др. Базальт, липарит, андезит принадлежат эффузивным породам.<sup>1</sup>

Анализ приведенного материала. В определении магматической породы как продукта остывания магмы нет признаков, по которым ее можно отнести к магматической. Проверить же достоверность того, что интрузивная магматическая порода является именно таковой, а не метаморфической, невозможно, потому что никто не присутствовал на глубине при охлаждении магмы. Доказать, что образец горной породы принадлежит магматической породе нельзя из-за отсутствия в нем признаков происхождения.

Для примера возьмем образец гранита, считающегося наиболее распространенной интрузивной магматической породой. Когда прошу студента или геолога объяснить, почему это магматическая порода, то в ответ слышу утверждение, что гранит сложен кристаллами, которые возникли при остывании магма. Но это признак кристаллической породы, а не магматической. Тогда показываю образец каменной соли, который состоит из кристаллов, и потому должен быть также магматической породой. Нет, каменная соль, заявляют мне, отнесена к осадочной породе. Мрамор же представляет собой пример метаморфической породы, хотя сложен кристаллами кальцита.

---

<sup>1</sup> Михайлов А.Е. Основы структурной геологии и геологического картирования. - М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1958. - С.175

Эффузивные породы вообще нельзя называть магматическими, потому что возникли при остывании излившейся лавы, а не магмы. Если и давать им название по происхождению, то логически выдержанно их называть вулканогенными, как образовавшимися при извержении вулканов. Но и в таком случае остаются логические неувязки.

При извержениях вулканов лава может изливаться или выбрасываться в виде раскаленных обломков разной величины – пирокластов (пирос – огненный, класт – обломок). Эффузивные или излившиеся породы составляют только часть вулканических пород. Есть еще пирокластические, разделяющиеся на рыхлые или тефру: пепел, лапилли (горох), вулканические бомбы, и сцементированные – туфы.

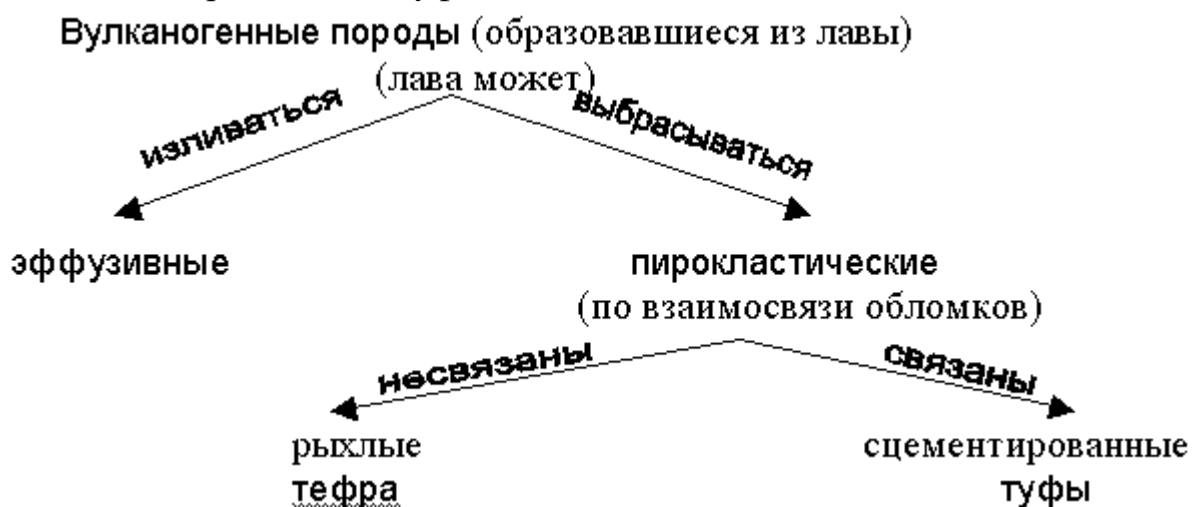


Рис. 1. Вулканогенные породы

При извержениях вулканов центрального типа лавы больше выбрасывается, чем изливается.

Осадочные породы

Осадочные горные породы – породы сформировавшиеся на поверхности или в приповерхностной части Земной коры за счет осаждения продуктов экзогенных процессов. Сами экзогенные процессы по направленности результатам можно условно разделить на 3 группы:

Разрушительные-промежуточные-созидательные.

К первой группе относятся:

- Гипергенез;
- геологическая деятельность ветра, водных потоков, ледников, озер и болот, подземных вод, морей.

В результате этих процессов образуются:

- рыхлый обломочный материал.
- новые минералы и минерализованные растворы.

Вновь образованный рыхлый материал и минералы могут оставаться на месте своего формирования (кора выветривания) или перемещаться. При перемещении или транспортировке и происходят промежуточные процессы. В зависимости от расстояния, скорости перемещения, объема и размеров переносимого материала и ряда других факторов могут продолжаться

дальнейшее разрушение и начаться частичная аккумуляция (или осаждение) переносимого материала.<sup>2</sup>

Разрушение при транспортировке - это:

- превращение крупных обломков в мелкие,
- превращение угловатых обломков в окатанные,
- сортировка обломочного материала по размерам (вертикальная и латеральная).

Частичная аккумуляция происходит обычно при транспортировке материала на большие расстояния или при резкой смене условий транспортировки. Происходит разделение рыхлого материала. Одна его часть перемещается дальше, а другая оседает. При этом может происходить укрупнение размеров обломков. Так, при разрушении горных пород могут высвобождаться мелкие частицы самородного золота, платины и других элементов. При частичном осаждении за счет магкости и гибкости мелкие золотины слипаются и образуют комок золотины или самородок.

Созидательные процессы включают:

- осадконакопление или седиментогенез;
- преобразование рыхлых осадков в твердую горную породу - диагенез.

Среди главных породообразующих компонентов выделим:

- 1- реликтовые минералы и обломки пород - терригенный материал;
- 2- минералы осадочного генезиса (опал, оксиды и гидроксиды железа, сульфаты фосфаты галоиды и т.д.)
- 3- органические остатки,
- 4- вулканический материал.

Строение осадочных пород характеризуют структура и текстура.

Структура - определяется размером и формой обломков и минералов, Текстура - их взаимным расположением и ориентировкой в пространстве.

Классификация осадочных горных пород.

Основной принцип - по вещественному составу и генезису сохраняется. В этом случае все породы делятся на 3 группы: обломочные, хемогенные и биогенные, глинистые. Такое деление детализировал Страхов, который выделил 10 групп:

- |                            |                  |                  |
|----------------------------|------------------|------------------|
| 1-обломочные               | 5-марганцовистые | 8-карбонатные    |
| 2-глинистые                | 6-фосфатные      | 9-соли           |
| 3-аллитные (глиноземистые) | 7-кремнистые     | 10-каустобиолиты |
| 4-железистые               |                  |                  |

Между этими группами пород существуют переходные разности.

С осадочным процессом связаны разнообразные полезные ископаемые. Это бокситы, железные и марганцевые руды, соли, нефть и газ, угли и горючие сланцы и др.

---

<sup>2</sup> Кузнецов В.Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение. - М.: Недрабизнесцентр, 2007. - С. 312.

С рыхлыми обломочными породами связаны россыпи золота, платины, олова, вольфрама, алмазов и др. драгоценных камней.

Сами породы используются как строительный материал, глины как адсорбент.

Согласно другой классификации осадочные породы в свою очередь разделяются на терригенные, органогенные и хемогенные (химические). Терригенные сложены неорганическими обломками и глинистыми частицами, снесенными в море с суши, земли (*terra* - земля). Это песок, глина, песчаник, конгломерат и др. Органогенные образовались в результате скопления остатков организмов, большей частью их скелетов. К ним относятся известняки, диатомиты, а также каустобиолиты – бурые и каменные угли. Хемогенные породы формируются при кристаллизации из воды различных солей. Самые распространенные из них каменная и калийная соли, гипс и др.

Из приведенного определения песчаник нельзя назвать осадочной породой, потому что он образовался на глубине не при выпадении осадка и вне термодинамических условий поверхностной части литосферы. Известняк из створок раковин моллюсков (ракушняк) стал таковым не на поверхности дна моря, а при погружении скоплений этих створок, также не выпадавших из морской воды. Признаков осадочного происхождения они не имеют. Относится это и к песку, например, эоловой фации.

#### Метаморфические породы

В том же словаре напечатано: «порода метаморфическая – основные особенности которой (минеральный состав, структура, текстура) обусловлены процессами метаморфизма, тогда как признаки первичного осадочного (в паропородах) или магматического (в ортопородах) происхождения частично или полностью утрачены».

Анализ приведенного материала. Прежде всего, необходимо отметить, что нет признаков первичного осадочного или магматического происхождения. По ним противопоставлять метаморфические породы другим типам пород невозможно. Конечно, образцы горных пород ответить не могут, происхождение на них не написано.

Под метаморфической предлагается понимать породу, изменившую форму, внешний облик. К ней относятся мрамор, кварцит, кристаллический сланец, гнейс и др. Получается, по образцу, например, гнейса можно увидеть, что он образовался в процессе метаморфизма. Ничего подобного на нем не написано. В середине XVIII в. гнейс считался первичной породой, возникшей при сотворении Земли. В конце XVIII в. по гипотезе нептунизма гнейсу приписывалась химическая природа, – появился при осаждении солей из соленого горячего первичного мирового океана. В начале XIX в. Б. Котта отвел место гнейсу в первичной коре охлаждения – земной коре, т. е. образовался он при остывании первичного расплава. И только затем с середины XIX в. гнейс стал считаться метаморфической породой. Между тем кристаллическое сложение гнейса свидетельствует, что он образовался при перекристаллизации с увеличением размера кристаллов какой-то мелкокристаллической породы.

Горных пород, не изменивших внешний облик, вообще нет. Песок образовался при разрушении гранита, гнейса, песчаника или какой-то другой породы, песчаник при цементации песчинок и т. д. Получается, все горные породы образовались за счет других пород с изменением внешнего облика, часто минерального и химического состава.

Таким образом, признаков происхождения горные породы не имеют. Отсутствие признаков происхождения не позволяет составить алгоритмы их определения, компьютерные программы. Отсутствие признаков генезиса свидетельствует, что магматических, осадочных и метаморфических пород в природе нет. Это видимый мир геологии, или вымысел.

## **2. Основные свойства горных пород**

### **2.1. Физические свойства горных пород**

Число физических свойств горных пород, проявляющихся в их взаимодействии с другими объектами и явлениями материального мира, может быть сколь угодно велико. Однако для практики горного дела представляют интерес лишь те свойства, которые непосредственно связаны с процессами современной горной технологии. В геомеханике требуется знание, в первую очередь, механических и плотностных свойств, но вместе с тем могут представлять интерес и некоторые другие свойства, показатели которых достаточно чётко отражают состояние пород или отчетливо коррелируют с напряжениями в породном массиве и потому могут быть использованы для оценки напряженного состояния пород и массивов. Кроме того, некоторые физические характеристики пород могут быть достаточно тесно взаимосвязаны с механическими и плотностными показателями свойств горных пород, но при этом более просто определяются на образцах или в массиве.

В качестве основного признака классификации физических свойств пород наиболее целесообразно принять внешние поля или воздействия, во взаимодействии с которыми проявляются те или иные свойства. На основе этого признака можно выделить следующие классы физических свойств горных пород: плотностные, механические, горнотехнологические, тепловые, электромагнитные, радиационные.

В табл.2/1 приведена классификация свойств с выделением внутри классов групп.<sup>3</sup>

### **2.2. Плотностные свойства горных пород**

---

<sup>3</sup> <http://afmgtu.apatity.ru/teaching/geollect1/31.html>



Плотностные свойства горных пород проявляются в результате действия гравитационного поля Земли. Их в свою очередь можно подразделить на две группы: гравитационные и структурные. К гравитационным свойствам относят удельный  $g_0$  и объемный  $g$  вес пород, к структурным — их удельную массу  $r_0$ , плотность (объемную массу)  $r$ , общую  $\Pi$  и открытую пористость  $\Pi_0$ , коэффициент пористости  $K_p$ .

Удельный вес—это вес единицы объема твердой фазы породы, т. е.

$$g_0 = G_T/V_T \quad (1)$$

где  $G_T$  и  $V_T$ —вес и объем твердой фазы образца.

Значения удельного веса горных пород в зависимости от удельного веса породообразующих минералов колеблются обычно в пределах 2,5—5,0 гс/см<sup>3</sup>.

Объемным весом называют отношение веса основных агрегатных фаз породы (твердой, жидкой и газообразной) к объему, занимаемому этими фазами:

$$g = G/V, \quad (2)$$

где  $G$  —вес агрегатных фаз породы;  $V$ —объем, занимаемый этими фазами.

Объемный вес — это наиболее часто используемая плотностная характеристика горных пород, которая зависит от их состава и структуры. Он всегда меньше удельного веса и лишь для весьма плотных пород может приближаться к нему.

Удельная масса — это отношение массы твердой фазы горной породы к объему твердой фазы:

$$r_0 = m_T/V_T, \quad (3)$$

где  $m_T$  и  $V_T$  — масса и объем твердой фазы образца.

Плотность (объемная масса) горной породы определяется как масса единицы ее объема (твердой, жидкой и газообразной фаз, входящих в состав породы), т. е.

$$r = m/V, \quad (4)$$

где  $m$ —масса всех агрегатных фаз породы;  $V$ —объем, занимаемый этими фазами.

Удельная масса и плотность породы могут быть выражены через ее удельный и объемный вес:

$$r_0 = g_0/g; \quad (5)$$

$$r = g/g, \quad (6)$$

где  $g$ —ускорение свободного падения.

В отличие от удельного и объемного весов плотность является параметром вещества в строгом физическом смысле.<sup>4</sup>

Наибольшую плотность имеют массивно-кристаллические изверженные породы, наименьшую — осадочные и некоторые эффузивные (вулканические туфы, пемзы).

<sup>4</sup> <http://afmgtu.apatity.ru/teaching/geol1/3l.html>

Под пористостью горной породы понимают суммарный относительный объем содержащихся в ней пустот (пор). Суммарный относительный объем открытых (сообщающихся) пор характеризует открытую пористость  $P_o$  горной породы. Суммарный относительный объем закрытых (замкнутых) пустот называют закрытой или изолированной пористостью  $P_{и}$ . Пористость, которая определяет движение в породе жидкостей и газов, называют эффективной пористостью  $P_{э}$ . Общая пористость  $P$  определяется совокупностью закрытых и открытых пор. Отношение объема пор к объему минерального скелета называют коэффициентом пористости  $K_p$ .

Поры по размеру разделяют на три класса: сверхкапиллярные (более 0,1 мм), капиллярные (0,002—0,1 мм) и субкапиллярные (менее 0,0002 мм).

Обычно пористость выражают в процентах, относя объем пор  $v$  к полному объему породы  $V$ :

$$P = (v / V)100\%. \quad (7)$$

Пористость горных пород изменяется в широких пределах — от долей процента до 90 % и более. Принято различать породы с пористостью низкой (менее 5%), пониженной (5—10%), средней (10—15%), повышенной (15—20%) и высокой (более 20 %).

### 2.3. Механические свойства горных пород

Механические свойства характеризуют поведение горных пород в различных механических силовых полях. Их подразделяют на ряд групп:

- прочностные, характеризующие предельное сопротивление пород различного рода нагрузкам;
- деформационные, характеризующие деформируемость пород под нагрузками;
- акустические, характеризующие условия передачи породами упругих колебаний;
- реологические, характеризующие деформирование пород во времени при заданных условиях нагружения;

Прочностные свойства определяют способность пород сопротивляться разрушению под действием приложенных механических напряжений. Они характеризуются пределами прочности при сжатии и растяжении, сцеплением и углом внутреннего трения.

Пределом прочности  $[s]$  называют максимальное значение напряжения, которое выдерживает образец до разрушения:

$$[s] = P / F \quad (8)$$

где  $P$ —разрушающая нагрузка;  $F$ —площадь, на которую действует приложенная нагрузка.

Предел прочности при одноосном сжатии образцов горных пород или, короче, прочность на сжатие  $[s_{сж}]$  — наиболее широко определяемая характеристика прочности пород. Её наивысшие значения для горных пород достигают 5000 кгс/см<sup>2</sup> (наиболее прочные базальты, кварциты), минимальные значения измеряются десятками и даже единицами килограмм-сил на

квадратный сантиметр (мергель, гипс, каменная соль в водонасыщенном состоянии). Прочность на сжатие пород даже одного петрографического наименования в зависимости от состава и структуры может колебаться в весьма больших пределах. Так, показатель  $[s_{сж}]$  для различных базальтов изменяется в диапазоне 300—5000 кгс/см<sup>2</sup>, гранитов — 370—3800 кгс/см<sup>2</sup>. Обычно прочность пород на сжатие тем выше, чем выше их плотность.<sup>5</sup>

Прочность на растяжение  $[s_p]$  горных пород значительно ниже их прочности на сжатие. Это одна из наиболее характерных особенностей горных пород, определяющих их поведение в поле механических сил. Горные породы плохо сопротивляются растягивающим усилиям, появление которых в тех или иных участках массива пород при разработке служит критерием опасности обрушений пород и разрушения горных выработок.

Отношение  $[(s_p/s_{сж})]$  весьма показательно для сравнительной характеристики различных пород и колеблется в пределах 1/5—1/80, чаще же всего в пределах 1/15—1/40. Верхний предел 1/5 соответствует глинистым породам, нижний — наиболее хрупким породам (гранитам, песчаникам и др.).

Прочность на срез (сдвиг) может быть охарактеризована двумя функционально связанными параметрами: сцеплением и углом внутреннего трения породы. Эту функциональную связь выражают уравнением Кулона—Мора:

$$t_n = s_n \operatorname{tg} j + [t_0], \quad (9)$$

где  $t_n$  — нормальное напряжение при срезе;  $j$  — угол внутреннего трения;  $[t_0]$  — сцепление.

Сцепление  $[t_0]$  характеризует предельное сопротивление срезу по площадке, на которой отсутствует нормальное давление, т. е. нет сопротивления срезающим усилиям за счет внутреннего трения. Угол внутреннего трения  $j$  или коэффициент внутреннего трения  $\operatorname{tg} j$  характеризует интенсивность роста срезающих напряжений с возрастанием нормальных напряжений, т. е. представляет собой коэффициент пропорциональности между приращениями касательных  $dt_n$  и нормальных  $ds_n$  напряжений при срезе:

$$\operatorname{tg} j = \frac{dt_n}{ds_n} \quad (10)$$

Значение сцепления горных пород меняется в пределах от десятых долей (глины, мергели, слабо сцементированные песчаники и др.) до сотен килограмм-сил на квадратный сантиметр (прочные песчаники и массивно-кристаллические породы), угол внутреннего трения — от 10—15 для некоторых глин до 35—60° для прочных массивно-кристаллических и метаморфических пород (граниты, сиениты, кварциты и др.).

Для изучения деформационных свойств горных пород обычно строят кривую деформирования в координатных осях « $s - e$ », при этом от начальной

<sup>5</sup> <http://afmgtu.apatity.ru/teaching/geolect1/3l.html>

точки до некоторого значения напряжений, называемого пределом упругости, наблюдается упругое деформирование горных пород, деформации носят чисто упругий характер и исчезают после снятия нагрузки.

Упругие свойства горных пород характеризуются модулем упругости  $E$  при одноосном напряженном состоянии (модулем продольной упругости или иначе модулем Юнга), модулем сдвига  $G$ , модулем объемной упругости  $K$  и коэффициентом поперечных деформаций  $\nu$  (коэффициентом Пуассона).

Модуль упругости  $E$  представляет собой отношение нормального напряжения  $s_n$  к относительной линейной деформации образца  $e_l = \Delta l / l$  в направлении действия приложенной нагрузки:

$$E = s_n / e_l \quad (11)$$

Модуль сдвига  $G$  — отношение касательного напряжения  $\tau$  к относительному сдвигу  $g$ :

$$G = \tau / g. \quad (12)$$

Относительный сдвиг  $g$  именуют иногда угловой деформацией. Он характеризует изменение формы деформируемого тела и выражается зависимостью

$$g = - \frac{p/2 - a}{p/2}, \quad (13)$$

где  $a$  — угол наклона каждого прямоугольного элемента тела после деформирования.

Модуль объемной упругости  $K$ , или модуль всестороннего сжатия, равен отношению равномерного всестороннего напряжения к относительному упругому изменению объема образца:

$$K = s_v / \Delta V / V, \quad (14)$$

где  $\Delta V / V$  — относительное изменение объема.

Коэффициент поперечных деформаций  $\nu$ , или коэффициент Пуассона, является мерой пропорциональности между относительными деформациями в направлении, перпендикулярном к вектору приложенной нагрузки и параллельном ему:

$$\nu = \frac{\Delta d / d}{\Delta l / l} \quad (15)$$

Перечисленные характеристики упругих свойств пород функционально связаны между собой следующими соотношениями:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (16)$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}. \quad (17)$$

Таким образом, зная две из этих характеристик, можно расчетным путем определить значения двух других. Обычно экспериментально определяют на образцах пород характеристики  $E$  и  $\nu$ .

Модули упругости различных пород изменяются в пределах  $(1,3) \cdot 10^4$ — $(1,3) \cdot 10^6$  кгс/см<sup>2</sup>. Наиболее низкие модули упругости имеют пористые туфы, слабые глинистые сланцы, галит, гнейсы, филлиты. Наиболее высокие модули упругости базальтов, диабазов, пироксенитов, дунитов, монтчеллита. С ростом плотности пород модули их упругости, как правило, возрастают. Модули упругости слоистых пород в направлении слоистости выше, чем перпендикулярно к слоистости.

Коэффициенты поперечных деформаций  $\nu$  горных пород теоретически могут изменяться в пределах от 0 до 0,5. Для большинства пород они колеблются в интервале значений от 0,15 до 0,35. Минимальные значения  $\nu$  имеют некоторые биотитовые и известковые сланцы, опал, филлиты, гнейсы (0,01—0,08), максимальные — некоторые дуниты, амфиболиты (0,40—0,46).

За пределом упругости происходит пластическое деформирование с образованием необратимых остаточных деформаций. Для характеристики этого процесса применяют более общий показатель—модуль деформации, представляющий собой отношение приращений напряжений к соответствующему приращению вызываемых ими деформаций.

Пластические свойства могут быть также охарактеризованы коэффициентом пластичности, для вычисления которого предложено несколько подходов.

Один из них, получивший широкое признание, заключается в определении коэффициента пластичности как отношения полной деформации до предела прочности материала к чисто упругой деформации, т. е. до предела упругости:

$$P = E_{\Pi} / E_y, \quad (18)$$

где  $E_{\Pi}$  — полная деформация, соответствующая моменту разрушения материала;  $E_y$  — упругая деформация.

Альтернативным показателем по отношению к коэффициенту пластичности является коэффициент хрупкости, отражающий способность горных пород разрушаться без проявления необратимых (остаточных) деформаций. Он может быть приближенно охарактеризован, как уже упоминалось, соотношением  $[s_p] / [s_{сж}]$  или по формуле

$$K_{хр} = W_y / W_p, \quad (19)$$

где  $W_y$  — работа, затраченная на деформирование породы до предела упругости;  $W_p$  — общая работа на разрушение.

Значения  $K_{хр}$  для различных пород изменяются в весьма широких пределах: например, для известняка и мрамора,  $K_{хр} = 0,06$ — $0,07$ , а для ийолитуртита  $K_{хр} = 0,54$ .

Проявление хрупкости горных пород существенно зависит от режима приложения нагрузок. Динамические, ударные нагрузки приводят породы к хрупкому разрушению, тогда как длительное приложение даже сравнительно небольших нагрузок может вызывать пластические деформации.

Акустические свойства определяют условия распространения в горных породах упругих колебаний. Они характеризуются скоростью распространения упругих волн  $v$  и коэффициентом затухания  $a$ .

Среди различного вида упругих колебаний в твердых телах наибольший интерес представляют продольные, поперечные и поверхностные (релеевские) волны. В продольных волнах направление колебаний частиц породы совпадает с направлением распространения волны; в поперечных направление колебаний частиц перпендикулярно к направлению распространения волны. Поверхностные волны—это колебания поверхности среды (поверхности образца горной породы).

Соотношение между скоростями продольных  $V_p$ , поперечных  $V_s$  и поверхностных  $V_R$  упругих волн характеризуется следующим неравенством:

$$V_p > V_s > V_R. \quad (20)$$

Скорости распространения упругих волн определяются плотностью, характеризующей смещаемую массу, и показателями упругости среды, связывающими возвращающие силы со смещениями колеблющихся частиц.

Произведение плотности породы на скорость соответствующей волны называют акустическим сопротивлением или акустической жесткостью:

$$Q = \rho V. \quad (21)$$

Оно характеризует влияние свойств среды на интенсивность (частоту) колебаний в этой среде, которая, кроме того, определяется еще параметрами возбудителя колебаний.

Поскольку горные породы не являются идеально упругими твердыми телами, в них происходит ослабление возбуждаемых упругих волн вследствие поглощения энергии колебаний в среде из-за трения, теплопроводности и других эффектов. Это ослабление, или затухание, подчиняется экспоненциальному закону.<sup>6</sup>

Скорость продольных упругих волн является наиболее употребительной характеристикой. Ее значение для различных изверженных пород варьирует, как правило, в пределах 3,5—7,0 км/с, но иногда достигает 8,5 км/с. В осадочных породах она обычно ниже, составляет 1,5—4,5 км/с, и лишь в плотных известняках достигает 6—7 км/с. В неконсолидированных осадочных и рыхлых обломочных толщах она еще ниже (0,1—2,0 км/с).

С ростом сжимающих нагрузок скорости упругих волн в горных породах, как правило, возрастают.

Реологические свойства характеризуют изменение (рост) во времени деформаций в горных породах при постоянном напряжении (явление ползучести), либо ослабление (уменьшение) напряжений при постоянной деформации (явление релаксации). Ползучесть и релаксация также как и пластические деформации, являются необратимыми, остаточными, но если пластичность пород характеризует их поведение при напряжениях, превышающих предел упругости, то ползучесть, представляющая собой

<sup>6</sup> <http://afmgtu.apatity.ru/teaching/geollect1/31.html>

медленное нарастание необратимых деформаций, проявляется и при напряжениях, меньших предела упругости, но при достаточно длительном воздействии нагрузок. Явление, обратное ползучести, называют релаксацией напряжений. При релаксации упругие деформации в породе с течением времени постепенно переходят в необратимые, но общая деформация во времени не изменяется. При этом происходит падение напряжений.

Подобные процессы вообще характерны для реальных твердых материалов, они являются предметом изучения специальной научной дисциплины—реологии (от греческого «рео»—течь) и имеют глубокую физико-химическую природу. Весьма существенную роль в проявлении необратимых деформаций играют дефекты структуры материалов. Поэтому реологические процессы в принципе можно рассматривать как перемещение дефектов под воздействием внешних нагрузок. Однако исключительная сложность определения молекулярных констант и разнообразие микроструктур реальных твердых тел не позволяют в настоящее время применять уравнение связи между напряжениями и деформациями тел на микроскопическом уровне. Вследствие этого изучение деформируемости твердых тел во времени, в том числе и горных пород, проводят на макроскопическом (феноменологическом) уровне, выражая взаимосвязи напряжений и деформаций в формализованных (т. е. не учитывающих реального механизма протекающих явлений) уравнениях механики сплошных сред.

Весьма характерной чертой реологических процессов, в частности ползучести, является зависимость деформации, наблюдаемой в данный момент времени, от характера всего процесса нагружения материала, или, другими словами, от всей предыдущей истории его деформирования. Это свойство реальных материалов называют наследственностью.

Особенностью большинства горных пород, как показывают эксперименты, является практически линейная зависимость между приращениями деформаций и приращениями напряжений в любой момент времени, т. е. проявление линейной ползучести. Это позволяет применять для описания деформирования горных пород во времени теорию деформирования линейных наследственных сред. При этом полная деформация в любой момент времени складывается из двух составляющих: упругой деформации в момент приложения нагрузки и собственно деформации ползучести.

В качестве характеристики реологических свойств пород используют также период релаксации—время, в течение которого напряжение убывает в  $e$  раз ( $e = 2,72$ —основание натуральных логарифмов). Период релаксации зависит от начального уровня напряжений и степени вязкости пород. Для прочных горных пород значения периода релаксации очень велики, оцениваются в сотни тысяч лет и даже более.

Прочность и упругость пород при длительном воздействии достаточно больших нагрузок понижаются, асимптотически приближаясь к некоторым предельным значениям — пределу длительной прочности  $s_y$  и предельному

модулю длительной упругости  $E_y$ . Для большинства пород  $s_y = (0,7—0,8)[s_{сж}]$ ,  $E_y = (0,65- 0,95) E$ .

## 2.4. Горнотехнологические свойства горных пород

Для решения отдельных вопросов геомеханики представляют определённый интерес горнотехнологические свойства, которые являются откликом массива пород на технологические воздействия и потому отражают, не только свойства, но и состояние пород.

Число характеристик здесь может быть сколь угодно велико (коэффициент крепости, коэффициент разрыхления, коэффициент трения, угол естественного откоса, гранулометрический состав, показатель дробимости, показатель взрываемости и др.). В соответствии с этим остановимся лишь на тех из них, которые находят наиболее широкое применение в геомеханике.

К их числу прежде всего следует отнести комплексный показатель свойств пород — коэффициент крепости  $f_{кр}$ , введенный проф. М. М. Протодяконовым для характеристики сопротивляемости пород механическим воздействиям. При этом была разработана шкала, в соответствии с которой все горные породы подразделены на 10 категорий. К первой из них отнесены породы с высшей степенью крепости ( $f_{кр} = 20$ ), к десятой — наиболее слабые плавучие породы ( $f_{кр} = 0,3$ ). Таким образом, пределы изменения коэффициента крепости — от 0,3 до 20.

Другой, также общеупотребительной характеристикой является коэффициент разрыхления  $K_p$ , представляющий собой отношение объема  $V_p$  породы после ее разрыхления при обрушении или добычи к объему  $V_m$  в массиве, т. е. до разрыхления:

$$K_p = V_p / V_m. \quad (22)$$

Наименьшую разрыхляемость при прочих равных условиях имеют песчаные и глинистые породы ( $K_p = 1,15—1,20$ ), наибольшую — хрупкие скальные породы ( $K_p = 1,30—1,40$ ).

С течением времени разрыхленные породы уплотняются, однако и после уплотнения они не достигают первоначальной плотности в массиве, имевшей место до разрыхления. Минимальные значения коэффициента разрыхления пород после их уплотнения  $K_p = 1,01—1,15$ .

Одной из существенных характеристик разрыхленных горных пород является также коэффициент трения  $f_0$ , который в отличие от коэффициента внутреннего трения  $\text{tg} \varphi$  характеризует условие перемещения отдельных блоков пород друг относительно друга, после того как нарушается сплошность массива. Значения коэффициентов трения колеблются в очень широких пределах, зависят от большого числа факторов, в частности от состава, строения, степени твердости пород, шероховатости трущихся поверхностей и составляют преимущественно 0,11—0,36. При больших давлениях могут иметь место пластические деформации и разрушения отдельных выступов на соприкасающихся поверхностях. Указанные сложности в определении



влияния каждого фактора на характеристики перемещения пород побудили проф. В. В. Ржевского ввести в рассмотрение единый экспериментально определяемый коэффициент зацепления. Он представляет собой отношение суммы сил трения, сцепления и механического зацепления, развиваемых в определенное время по конкретной поверхности соприкосновения частей массива горных пород, к площади этой поверхности.

### 3. Рыхлые горные породы. Песок

#### 3.1 Общая характеристика рыхлых пород

К этой группе горных пород обыкновенно относят песок и гравий, глину, растительную землю и всевозможные природные смеси этих веществ, образующие то, что мы называем почвой.

Все они представляют собой продукты разрушения каменных пород, иногда с примесью органических остатков и состоят из отдельных частиц, между собою вовсе не связанных, или связанных очень слабо.

Строителю приходится иметь с ними дело:

- В качестве грунтов, на которых возводится сооружение - в этом случае важно знать сопротивление грунта давлению, его степень сжимаемости, степень проницаемости водою и происходящие в нем от подобных причин изменения;

- В качестве материала для устройства насыпей и выемок, при чем кроме перечисленных свойств важно знать величину угла естественного откоса данного грунта;

- В качестве веществ, употребляемых как составные части при изготовлении искусственных материалов - кирпича, бетона, растворов и пр.

К гравийно-песчаным и песчаным относят рыхлые или слабо сцементированные горные породы, состоящие из окатанных в различной степени обломков горных пород и зерен минералов. Эти породы используют в качестве сырья для производства песка, гравия и щебня из гравия для строительных работ.

К песку относят обломки пород и зерна минералов размерами свыше 0,05 до 5 мм, к гравию — свыше 5 до 70 мм, к валунам — свыше 70 мм. Частицы размером до 0,05 мм считают пылевидными и глинистыми. Поддержанию песка, гравия и валунов выделяют (табл. 3.1) следующие типы пород.

Таблица 3.1

Типы рыхлых пород

| Породы            | Содержание, %   |                |         |
|-------------------|-----------------|----------------|---------|
|                   | песка           | гравия         | валунов |
| Песчаная          | Свыше 90 до 100 | До 10          | -       |
| Песчано-гравийная | » 10 » 90       | Свыше 10 до 85 | До 5    |

|                            |           |          |               |
|----------------------------|-----------|----------|---------------|
| Песчано-гравийно-валун-ная | » 10 » 85 | »10 » 85 | Свыше 5 до 80 |
|----------------------------|-----------|----------|---------------|

Песчаные, песчано-гравийные и песчано-гравийно-валунные породы оценивают следующими общими показателями: содержанием песка, гравия и валунов; петрографической характеристикой, включающей наименование породы в соответствии с табл. 1.14, генетическую принадлежность, данные о наличии или отсутствии прослоев глинистых и других засоряющих пород, радиационно-гигиеническую оценку. Кроме этих основных показателей, для оценки гравийно-песчаных и песчаных пород применяют дополнительные (объемную насыпную массу, коэффициент разрыхления, естественную влажность), а также технологические показатели (выход щебня при дроблении гравия, промывистость, обогатимость песка и др.).

### 3.2. Песок, его характеристика, свойства и применение

Песок представляет смесь зерен распавшейся от выветривания горной породы; так, например, при выветривании гранита образуется первоначально песок, содержащий зерна кварца, листочки слюды, глинистые частицы (получившиеся при распадении полевых шпатов), а также и не успевшие разрушиться гранитные зерна, состоящие из нескольких минералов.

Вода, перенося песок с возвышенностей на низменные места, округляет все эти зерна трением друг о друга и отмывает их, унося с собой наиболее мелкие частицы - глину. Таким образом, там, где скорость течения воды сразу замедляется, образуются отложения зерен, более или менее отсортированных водою по их величине и удельному весу, а, следовательно, и более разнородных.

Камень, искусственно разбитый на мелкие куски, называется щебнем.<sup>7</sup>

По конфигурации (форме песчинок) и по местонахождению различают: пески делятся:

- Горный песок - находимый на месте своего первоначального образования и не обработанный текущей водою, вследствие чего песчинки с шероховатой поверхностью, неровны по величине, остро ребристые, с угловатыми зернами и между ними попадают более крупные, не распавшиеся куски коренной породы (дресва);

- Грунтовый, погребной или овражный песок отличается от предыдущего только тем, что его отложения бывают, покрыты позднейшими наносными слоями и поэтому в нем иногда содержатся землистые примеси. Оба эти песка ценятся за угловатую форму зерен, обуславливающую хорошее сцепление их в строительных растворах, но часто встречающиеся в таких, недостаточно промытых водою, песках примеси глины и, в особенности, растительной земли весьма понижают их достоинство.

<sup>7</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki>

- Речной песок, наоборот, обыкновенно довольно чист (если не содержит ила или случайных примесей, кусочков древесной коры, гнилушек), но зерна его округленные.

- Морской песок также с округленными зернами, обычно мельче речного и, кроме того, содержит соли, входящие в состав морской воды.

- Ещё песок может быть, озёрными, флювиогляциальными и эоловыми.

По минералогическому составу чаще всего встречаются пески (горная порода) кварцевые, глауконито-кварцевые, полевошпатово-кварцевые (см. Аркозы), слюдистые и другие..

Кварцевый песок - считается лучшим  $\text{SiO}_2$ .

Один из самых распространенных породообразующих минералов.

По структуре - каркасный силикат.

Кристаллические модификации: гексагональная (устойчив выше  $573^\circ\text{C}$ ) и тригональная (устойчив ниже  $573^\circ\text{C}$ ) модификации.

Часты двойники, образует зерна, зернистые кристаллы, агрегаты и сплошные массы.

Цвет разнообразный:

бесцветный кварц - горный хрусталь, фиолетовый кварц - аметист, дымчатый кварц - раухтопаз, черный кварц - морион, золотистый кварц - цитрин.

Твердость 7; плотность  $2,65 \text{ г/см}^3$ . Пьезоэлектрик.

Кварцевые пески и кварциты используются в керамической и стекольной промышленности; монокристаллы кварца - в оптическом приборостроении и как пьезоэлектрический материал; окрашенные разновидности кварца - в ювелирном деле.

Полевые шпаты, группа самых распространенных породообразующих минералов подкласса каркасных силикатов; около 50% массы земной коры. Изоморфные смеси алюмосиликатов K, Na, Ca, Ba.

Цвет песков - белый, розовый, серый и другие.

Твердость 6-6,5; плотность  $2,6-2,8 \text{ г/см}^3$ .

Различают полевые шпаты: кальциево-натриевые - плагиоклазы; щелочные (калиево-натриевые) - ортоклаз, микроклин, санидин; калиево-бариевые и др.

Применяются в керамической, фарфоровой, стеклянной, цементной промышленности; как поделочные камни.

Алеврит (от греческого слова *aleuron* - мука), рыхлая осадочная горная порода, по составу промежуточная между песчаными и глинистыми породами, размер основной массы зерен  $0,01-0,1 \text{ мм}$ ; сцементированный алеврит называется алевролитом.

Свойства песка (горная порода)

Теоретически лучшим свойствами для растворов обладает чистый кварцевый песок

Вообще же хороший песок для приготовления растворов, бетона и т. п. должен иметь:

- по возможности не слишком отшлифованные зерна;

- удельный вес - по возможности близкий к норме;
- при растирании в сухом виде на белой бумаге не должен ее пачкать;
- при взбалтывании с водой должен быстро садиться на дно и не оставлять воду надолго мутной;
- прокаленный кварцевый песок не должен заметно растворяться в горячей соляной кислоте.

Крупность зёрен определяют последовательным просеиванием определённого количества песка через сита с разной крупностью ячеек. Обычно берут сита с ячейками 1,2 и 0,3 миллиметра. Пропускают 2кг песка. Если на первом сите осталось больше 1кг песка - то он считается крупным.

Если через сито с ячейками 0,5 миллиметра пройдёт свыше 1кг песка, то песок считается мелким.<sup>8</sup>

Наличие примесей в песке.

В горном песке всегда присутствуют примеси глины, в то время как в овражном - верхний слой загрязнён, а нижний, где песок промыт грунтовыми водами, - чистый. Морской песок содержит соли и органические остатки. Речной песок - наиболее чистый.

Для оценки количества органических примесей взбалтывают песок с приблизительно равным по объёму количеством 3% раствора едкого натра и оставляют стоять сутки: если жидкость останется бесцветной или примет слегка желтоватую окраску - песок удовлетворителен; если же цвет жидкости будет темно-бурый, то песок непригоден ни для растворов, ни для бетонов.

Для определения пустот берут большую стеклянную мензурку (ёмкость 1,5 литра), наливают туда 0,4 литра. Затем тонкой струйкой всыпают строго отмеренный 1 литр песка.

Предположим, что уровень воды в мензурке поднялся до отметки 1,1 литр. Но мы брали 0,4 литра воды и 1 литр песка, а получили в сумме не 1,4 литра, а на 0,3 литра меньше. Эта цифра и показывает объём пустот в песке между зёрнами, который заняла вода.

Как песок, так и гравий несжимаемы и поэтому считаются надёжным грунтом при устройстве основания.

Но если слой песка, притом мелкого, находится в области грунтовых вод, то при движении последних, например, в стенках рва в подобном грунте, он легко вымывается (так называемый плывун), против чего при постройках следует принимать необходимые меры.

Давление.

Будучи помещен в вертикальный сосуд и нагружен чем-либо сверху, песок передает это давление почти целиком на стенки сосуда и лишь в малой степени на дно последнего. На этом свойстве песка основано применение песка для устройства песчаных свай, для забойки шпуров и т. п.

Песок - фильтр.

---

<sup>8</sup> Кузнецов В.Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение. - М.: Недрабизнесцентр, 2007.

Вода просачивается через песок свободно, как бы ни был толст его слой; этим свойством пользуются при устройстве песчаных (английских) фильтров для очистки питьевой воды. По этой же причине песчаные местности всегда сухи.

#### “Плывучесть”

Наконец, еще одна особенность песка: рассыпаясь свободно, например, при осыпании какой-либо выветривающейся скалы, или стены выемки, сделанной в сыром песке, песок образует кучу, поверхность которой составляет с горизонтом довольно постоянный угол естественного откоса, обыкновенно около  $45^\circ$ .

Эта величина имеет значение, однако, только для слегка влажного песка; совершенно же сухой песок при лабораторных условиях образует гораздо меньший угол естественного откоса -- около  $30^\circ$ .

Для плавунa, т. е. мелкого песка, совершенно пропитанного водою, угла естественного откоса не существует, так как такой песок совершенно расплывается.

Все описанные свойства, характерные для чистого песка, теряются более или менее, когда песок содержит примеси глины и растительного перегноя.

При постройке и ремонте шоссеиных дорог заготавливаемый песок, гравий и щебень удобнее располагать вдоль дороги в виде конических куч, легко обмеряемых, благодаря указанному выше постоянству угла естественного откоса.

Примеси, встречающиеся в песке, могут быть удалены:

Крупные механические примеси - камни, щепки и т. п. - удаляются просеиванием. Для просеивания (грохотания) обыкновенно служит грохот. Это сколоченный из четырех досок бездонный ящик, длиной около 1,25м, шириной около 1м, по углам скрепленный обручным железом; вместо дна к стенкам приколочена проволочная сетка с ячейками потребной крупности, а чтобы она от тяжести песка не провисала, под ней натянуты накрест две полосы обручного железа. Грохот ставят наклонно, подпирая его чем-либо, и рабочий набрасывает песок лопатой на поднятый конец сетки; чем круче стоит грохот, тем мельче будут зерна, пропускаемые сеткой.

Мелкие примеси - глина и т. п. - удаляются промыванием водою. Промывку песка можно производить, устроив лоток с текущей водой и перебрасывая песок лопатой, или перегребая его граблями навстречу течению воды.

Прокаливание песка, как мера для уничтожения органических веществ, применяется чрезвычайно редко.

#### Заключение

Горная порода, или как чаще говорят, порода, представляет собой сочетание (агрегат) минералов естественного (природного) происхождения. Обычно породы слагают более или менее значительные площади. Песок и

суглинок тоже причисляют к горным (точнее - рыхлым осадочным) породам. Наука, изучающая горные породы, носит название петрографии.

Свойства горных пород обусловлены их минеральным составом и строением, а также внешними условиями. Важными параметрами, определяющими свойства, являются её пористость и трещиноватость. С пористостью и минеральным составом тесно связана плотность горных пород, которая в породах, лишённых пористости, определяется слагающими их минералами. Такие свойства, как теплоёмкость, коэффициент объёмного теплового расширения и др. определяются в первую очередь минеральным составом, прочностные же и упругие свойства горных пород, их теплопроводность и электропроводность зависят главным образом от строения пород и особенно сил связей между зёрнами. Так, наличие преимущественной ориентировки зёрен приводит к анизотропии свойств. В создании анизотропии свойств может участвовать также ориентированная трещиноватость.

Свойства горных пород зависят также от воздействия механического (давление), теплового (температура), электрического, магнитного, радиационного (напряжённости) и вещественного (насыщенность жидкостями, газами и т. д.) полей.

Как объект горных разработок горные породы характеризуются различными технологическими свойствами — крепостью, абразивностью, твёрдостью, буримостью, взрываемостью и т. д. Крепость оценивает сопротивляемость пород механическому разрушению, абразивность — способность пород истирать режущие кромки рабочих механизмов и т. д. С целью выбора рациональных методов и механизмов разрушения применяются различные классификации горные породы. по технологическим свойствам (например, в практике горного дела широко применяется классификация по крепости.

Песок — рыхлая, сыпучая смесь, состоящая из обломков минералов: кварца, полевых шпатов, с примесью слюды. Получается как отсев при производстве щебня. Размеры зерен в песке колеблются от 0,1 до 5 мм. Песок применяется при строительстве в качестве добавок (заполнителей).

Песок бывает речной, карьерный мытый, карьерный горный, строительный песок.

Песок используют в медицине при лечении артритов и других заболеваний, применяют в талассотерапии (морской песок), песком решают проблему гололеда на дорогах в зимний период. Речные пески применяется для таких строительных работ как кладка, стяжка, (реже - штукатурка) наполнитель для затирок и красителей. В отдельных случаях его используют при производстве ЖБИ - изделий. В частности тротуарной плитки. Такие инженерные сооружения, как септики и дренажи, также нуждаются в применение песка. Используется как наполнитель для устройства самых эффективных на сегодняшний день напольных полиуретановых, эпоксидных покрытий, производства декоративных штукатурок, ландшафтного дизайна. Широко

используется для бетонного производства, в жилищном и дорожном строительстве. Для бетонного производства песок применяют в качестве мелкого заполнителя. Для приготовления растворов используется песок с модулем крупности менее 1,5, для приготовления бетона - крупные или средние пески не ниже модуля 2. Для легкого бетона используют пески из керамзита (керамзит), шунгизита, пемзы, аглопорита и др

### **Список литературы**

1. Габриэлянц Г.А. Геология нефтяных и газовых месторождений. - М.: Недра, 1984. - 285 с.
2. Геология и геохимия нефти и газа /Под общ. ред. А.А.Бакирова и З.А.Табасаранского. - М.: Недра, 1982. - 288 с.
3. Добровольский В.В. Геология. - М.: ВЛАДОС, 2001. - 320 с.
- Карлович И.А. Геология. - М.: Трикта, 2005. - 704 с.
4. Красильщиков Я.С. Основы геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. - М.: Недра, 1987. - 236 с.

5. Кузнецов В.Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение. - М.: Недрабизнесцентр, 2007. - 512 с.
6. Михайлов А.Е. Основы структурной геологии и геологического картирования. - М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1958. - 376 с.
7. Справочник по геологии нефти и газа /Под ред. Еременко Н.А. - М.: Недра, 1984. - 480 с.
8. <http://slovari.yandex.ru/dict/bse/article/00019/71100.htm>
9. <http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/011/871.htm>
10. [http://bau-platz.ru/primenenie\\_peska\\_chelove](http://bau-platz.ru/primenenie_peska_chelove)
11. <http://ru.wikipedia.org/wiki>
12. <http://afmgtu.apatity.ru/teaching/geolect1/31.html>